



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG
Zentrallabor für Elektronik

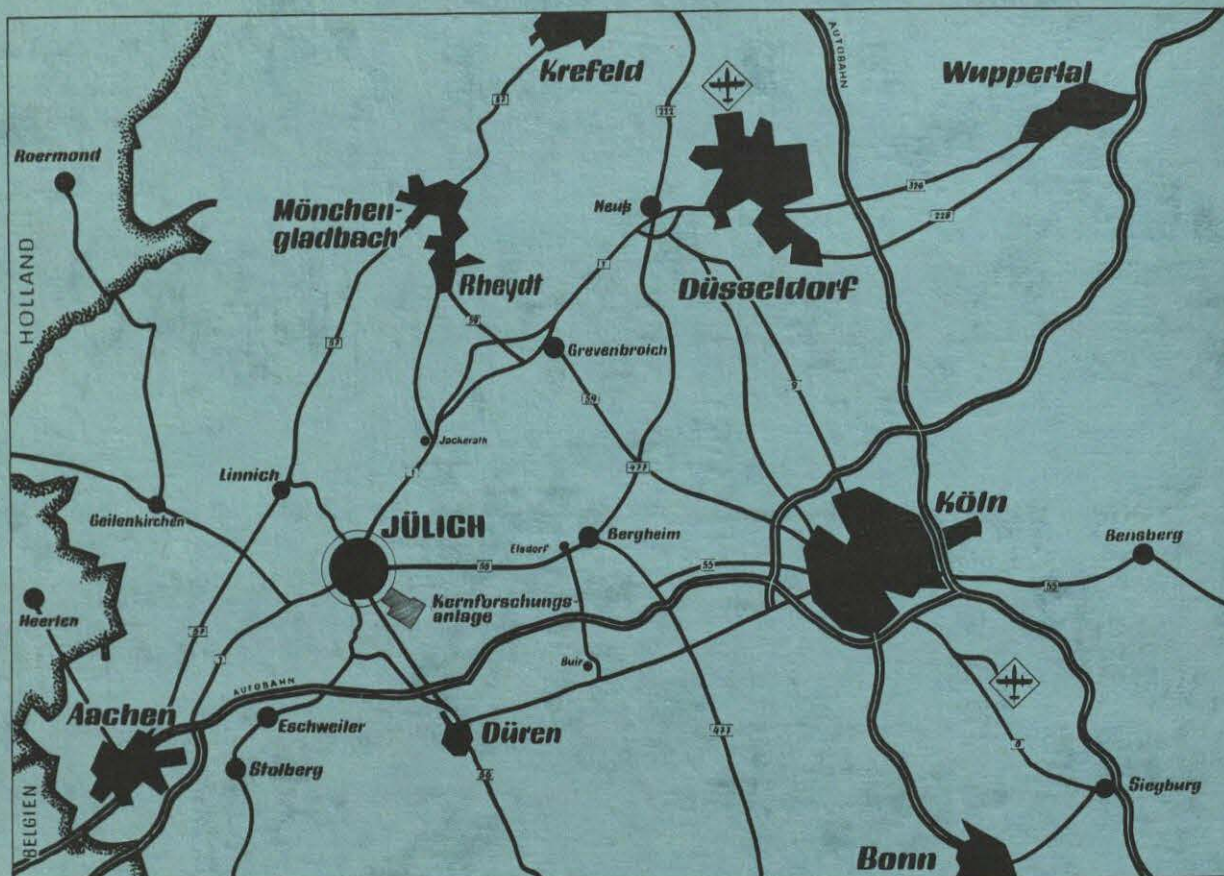
**Modell einer Einrichtung zur Positionierung
von kugelförmigen Brennelementen nach
einer Bohrung mit berührungsloser
fluidischer Abtastung**

von

J. Hotfilter und R. Meißer

Jül - 898 - ZE
November 1972

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 898

Zentrallabor für Elektronik Jül – 898 – ZE

Dok.: Reactor Fuel Element - Displacement Gage

» Sphere - Displacement Gage

Sphere - Position Indicator

Reactor Fuel Element - Position Indicator


• Displacement Gage - Reactor Fuel Element

~ Displacement Gage - Sphere

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Modell einer Einrichtung zur Positionierung von kugelförmigen Brennelementen nach einer Bohrung mit berührungsloser fluidischer Abtastung

von

J.  Hofffilter und R. Meißen

Zusammenfassung

Bei der ursprünglich geplanten Methode der Refabrikation kugelförmiger Brennelemente mit in loser Schüttung enthaltenen coated particles im 'Mechanischen Head-End' bestand die Notwendigkeit, das Brennelement an der gleichen Bohrungsstelle wieder aufzubohren, an der es durch einen Stift verschlossen wurde. Diese Bohrung von 3 mm Durchmesser ist dadurch markiert, daß der Stift ca. 2 mm unter die Oberfläche abgesenkt ist.

Es wurde eine Modelleinrichtung erstellt, in welcher die Kugel in derartiger Weise gedreht wird, daß die Bohrung von einem fest positionierten Fühler ertastet wird. Nach Ertasten der Bohrung wird die Bewegung der Kugel beendet, so daß die Bohrung sich in einer definierten Stellung befindet und die Bearbeitung der Kugel erfolgen kann.

Es wird ein fluidischer Fühler benutzt, der die Kugeloberfläche berührungslos abtastet. Als Antriebe dienen zwei Schrittmotore. Sie werden von einer mit TTL-Bausteinen aufgebauten Schaltung gesteuert.

Einleitung

Im Rahmen der Studie 'Mechanisches Head-End' zur Refabrikation kugelförmiger Brennelemente mit in loser Schüttung enthaltenen coated particles wurde eine Modelleinrichtung zur berührungslosen fluidischen Abtastung und zur Bearbeitung der Kugel erstellt.

Die Einrichtung stellt eine Weiterentwicklung eines Teiles des 'Mechanischen Head-End' dar, welches im Institut für Reaktorentwicklung von K.H. Hammelmann in Zusammenarbeit mit dem Zentrallabor für Elektronik, J. Hotfilter, entwickelt und aufgebaut worden war. Ausgehend von den Erfahrungen im Zentrallabor für Elektronik mit fluidischen Sensoren und leicht steuerbaren kleinen Antrieben, wurde Wert auf einen möglichst ruhigen Lauf der Brennelementkugel bei möglichst geringer mechanischer Belastung gelegt.

Es handelt sich um Graphithohlkugeln mit dem Außendurchmesser $D = 60$ mm. Die Bohrung mit einem Durchmesser $d = 3$ mm, durch die die coated particles hinein- und herausgeschüttet werden, ist mit einem Stift verschlossen, der ca. 2 mm unter die Oberfläche abgesenkt ist.

Um die Kugel aufbohren und weiter bearbeiten zu können, muß sie vorher in ihrer Halterung so gedreht werden, daß die als Vertiefung von 2 mm Tiefe und 3 mm Durchmesser zu findende Bohrung in die gewünschte definierte Lage kommt.

Im folgenden soll die Modelleinrichtung beschrieben werden, die die Drehung der Kugel und das Abtasten der Oberfläche zum Auffinden der Bohrung ausführt.

Zweck der Bewegung

Der Fühler zum Auffinden der Bohrung befindet sich an einem festen Ort. Die Kugel muß daher so bewegt werden, daß mit Sicherheit die Bohrung unter dem Fühler durchgeführt wird, unabhängig von der Lage der Bohrung auf der Kugel zu Beginn des Bewegungsvorganges.

Wenn die Bohrung sich unter dem Fühler befindet, soll dieser ansprechen und die Bewegung der Kugel zum Stillstand bringen.

Die Bewegung der Kugel muß eine Drehbewegung sein, wobei natürlich eine kontinuierliche Drehung in nur eine Richtung nicht ausreichend ist.

Zwei sich abwechselnde Drehungen in senkrecht zueinander stehender Richtung entsprechend folgenden Erläuterungen sind geeignet, die Aufgabe zu erfüllen. Die eine Bewegung wird im folgenden als Drehen, die andere als Wenden bezeichnet.

Bewegungsprinzip

Die Kugel wird in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen um Achsen gedreht, die durch den Kugelmittelpunkt laufen.

Es folgt eine Drehung um 360° , danach ein Wenden um wenige Grad. Daraus ergeben sich die in

Bild 1 auf der Kugeloberfläche gezeichneten Linien, die von dem Fühlermittelpunkt beschrieben werden. Der Wenderadius r ist hierbei der Radius des Kreises, auf dem die Bohrung durch den Wendevorgang läuft. Durch die Anfangslage der Kugel bedingt gilt $0 \leq r \leq D/2$.

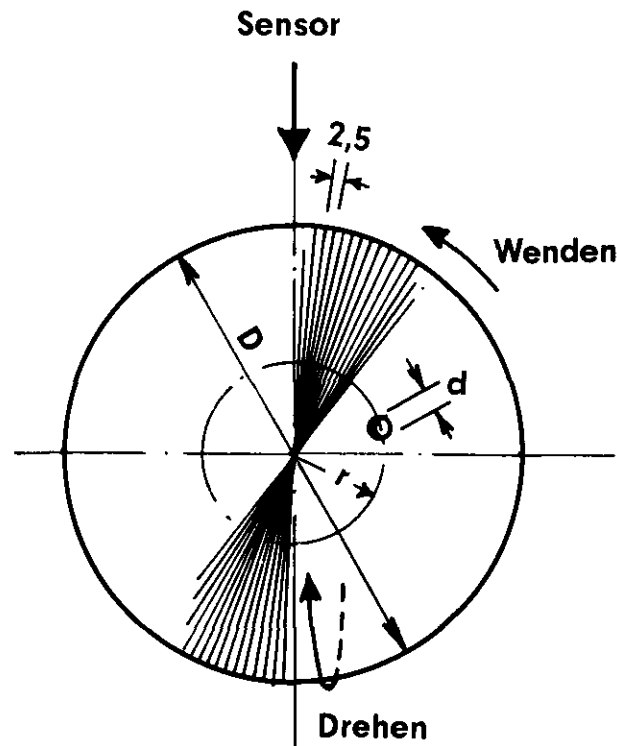


Bild 1 Abtastlinien auf der Kugeloberfläche

Das Wenden erfolgt um einen solchen Winkel, daß auf dem größten Wenderadius $r = D/2$ der Weg kleiner als der Bohrungsdurchmesser d ist. Dann muß immer eine Abtastlinie über die Bohrung laufen, so daß sie von dem Fühler registriert werden kann.

Ein gleichzeitiges kontinuierliches Drehen und Wenden führt bei dem hier angewandten Antriebsprinzip nicht zum Ergebnis, da hierdurch nur eine Drehung um eine einzige, verdreht zum Koordinatensystem durch den Kugelmittelpunkt laufende Achse erfolgt und somit nur eine einzige Abtastlinie auftritt.

Drei andere Antriebsprinzipien sind in [6] beschrieben.

Ausführung

Drehen und Wenden erfolgt also derart, daß die beiden Vorgänge um aufeinander senkrecht stehenden Achsen verlaufen.

Naheliegender ist es zur Ermöglichung der beiden Bewegungen, die Kugel bei jedem Wechsel zwischen Drehen und Wenden mechanisch umzuspannen. Dieses Umspannen der Kugel erfordert aber Zeit und kann ohne großen Aufwand keinen einwandfreien Bewegungsablauf der Kugel gewährleisten. Durch die möglichen Durchmesser Schwankungen der Kugeln von $\pm 1,5 \text{ mm}$ kann eine Bewegung der Kugel während des Umspannens erfolgen.

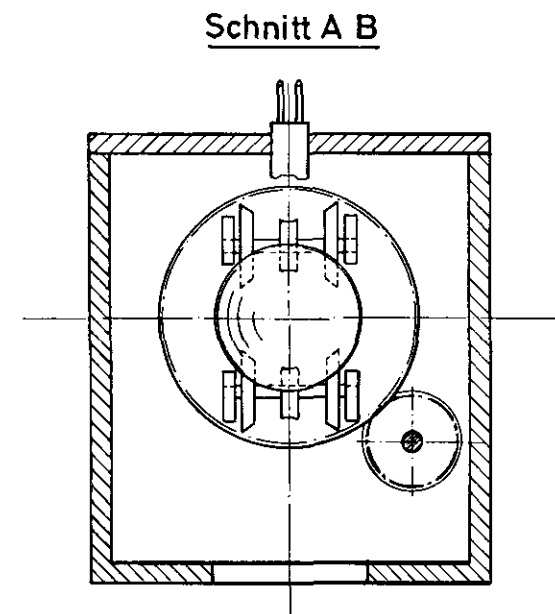
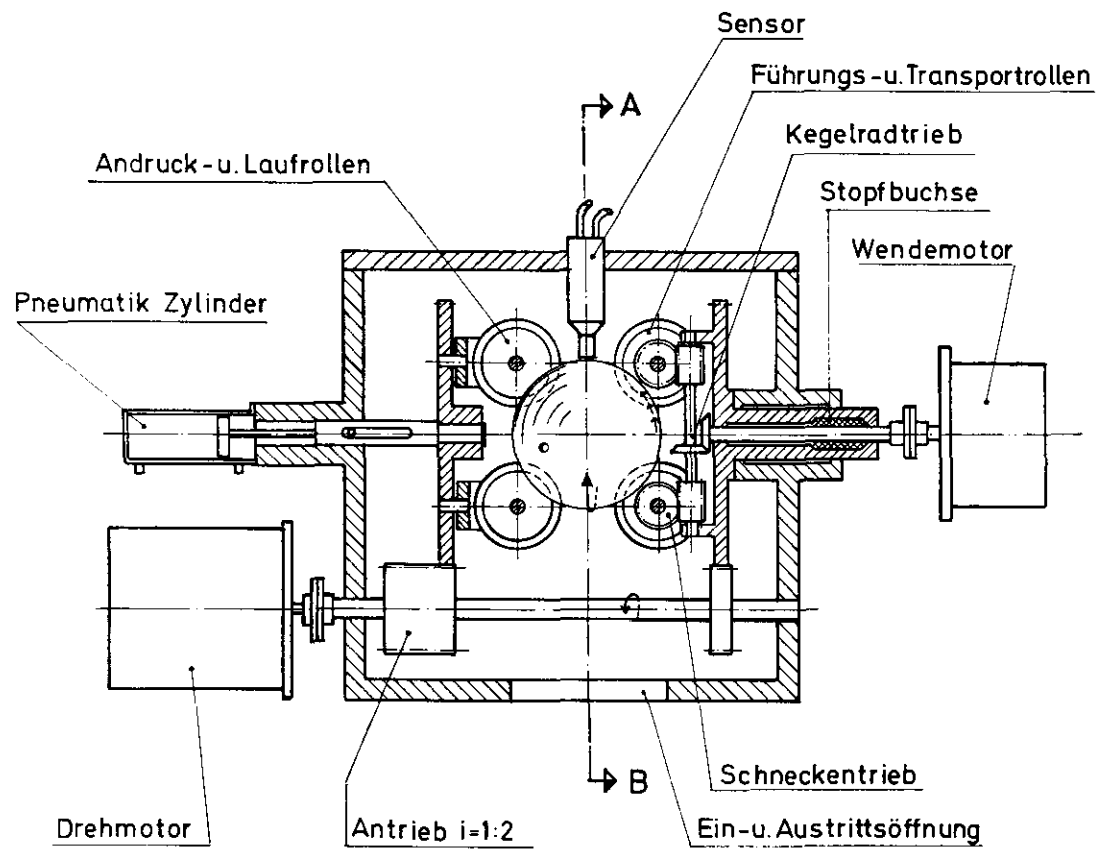


Bild 2 Modell zur Kugelbewegung

Daher wurde folgende Apparatur erstellt, die nur ein einmaliges Einspannen der Kugel zu Beginn des Abtastvorganges erfordert. Die Kugel wird also während des Dreh- und Wendevorganges nicht losgelassen.

Für folgende Erläuterungen siehe Bild 2.

Bei geöffneter Andruckeinrichtung gelangt die Kugel durch die Eintrittsöffnung in das Aufnahmesystem, das vor Beginn in einer geeigneten Grundstellung steht. Durch Betätigung des Pneumatik-Zylinders wird das System geschlossen und die Kugel in die gezeichnete Anfangslage gebracht.

Durch Benutzung des Pneumatik-Zylinders wird erreicht, daß die Kugel immer mit dem gleichen, gewünschten Anpreßdruck von den Rollen gehalten wird, unabhängig von ihrer Durchmesser-toleranz. Die Rollen sind leicht dreh- und schwenkbar gelagert.

Ferner besteht die Möglichkeit, durch höheren Anpreßdruck bei der späteren Bearbeitung die Kugel besonders fest zu halten.

Durch den Drehmotor wird dann das gesamte innere System um exakt 360° gedreht. Diese Drehbewegung wird von allen 8 Rollen des Aufnahmesystems auf die Kugel übertragen. Hierbei muß sich die Antriebswelle für den Wendevorgang im gleichen Maße mitdrehen, damit ein Wenden während des Drehvorganges vermieden wird. Hierzu dient die eingebaute Stopfbuchse, die nur ein Provisorium für dieses Modell sein kann. Ferner wird während des Drehvorganges der Wendemotor von seiner Stromversorgung abgeschaltet, so daß sein Rotor frei beweglich ist.

Nach Ausführung der 360° -Drehung wird beim Stillstand des Drehmotors der Wendevorgang durchgeführt. Dieser erfolgt vom Wendemotor über einen Kegelrad- und Schneckentrieb. Die vier Führungs- und Transportrollen übertragen den Antrieb auf die Kugel, während die Andruck- und Laufrollen nur frei mitlaufen.

Nach Beendigung des Wendevorganges stehen alle 8 Rollen wieder still. Danach kann ein erneuter Drehvorgang eingeleitet werden usw., bis durch das Er tasten der Bohrung durch den Fühler dieser Ablauf beendet wird.

Die Untersetzung vom Drehmotor zum Aufnahmesystem und damit zur Kugel ist 1:2. D.h. für eine Kugeldrehung sind zwei Motordrehungen erforderlich.

Da das Wenden immer nur in eine Richtung erfolgt, ist das Spiel innerhalb des Schnecken- und Kegelradantriebes ohne Bedeutung.

Der Versuch hat erwiesen, daß die Wenderollen ohne Rutschen bei verschiedenen Drücken im Bereich weniger atü im Pneumatik-Zylinder den Wendevorgang einwandfrei durchführen. Durch die gewählte Lagerung der Rollen wird ein gleichmäßiger Wendevorgang auch dann erreicht, wenn die Bohrung sich unter einer Rolle befindet.

Die Rollen sind so angebracht und so ausgeführt, daß die 8 Berührungspunkte zwischen Kugel und Rollen unter einem Winkel von etwa 45° zu den drei Achsen eines vom Kugelmittelpunkt ausgehenden Koordinatensystems liegen. Hierdurch wird eine maximale Stabilität in der Kugel-

halterung und ein fester Sitz ohne zu große Kräfte in jeder möglichen Bearbeitungsstellung erreicht.

Antriebe

Sowohl für den Drehvorgang als auch für den Wendevorgang wird als Antrieb ein Schrittmotor benutzt.

Hierfür sind im wesentlichen folgende Gründe maßgebend:

Der Schrittmotor kommt ohne Auslauf definiert zum Stehen und seine Stellung wird im Stillstand durch den fließenden Gleichstrom fixiert.

Durch Vorwahl der Schrittzahl in der Steuerung wird der gewünschte Dreh- bzw. Wendewinkel erreicht.

Beim Wendemotor wird jeweils nach dem Stop in der gewünschten Stellung der Gleichstrom abgeschaltet, so daß der Rotor frei beweglich wird und mit der Drehbewegung der Kugel mitläuft.

Der Zugriff aus der elektronischen Steuerung zu beiden Motoren ist denkbar einfach und schnell, da beide Ansteuereinheiten für die Motoren voll elektronisch arbeiten und mit Eingangssignalen nach dem TTL-Pegel angesteuert werden können.

Die verschiedenen Funktionen lassen sich durch Ergänzungen allein in der elektronischen Steuerung erweitern, z.B. auf beliebig langsamen Lauf; Vor- und Rückwärtslauf, Abzählen der Anzahl der Schritte zur besseren Zentrierung während der Zeit, in der der Fühler sich über der Bohrung befindet, etc.

Es wurden diese Schrittmotore einschließlich der zugehörigen Ansteuereinheiten benutzt.

Dreher: Knab/München: KS 090.2.200, vierpolig, $1,8^\circ$ /Schritt
Drehmoment ca. 14 kpcm bei 500 Hz.
Wender: Valvo/Hamburg: PD 18, vierpolig, $7,5^\circ$ /Schritt
Anlaufdrehmoment ca. 600 pcm bei 150 Hz.

Fluidischer Fühler

Die Erfassung der Bohrung in der Graphitkugel sollte möglichst nicht durch einen mechanischen Fühler erfolgen, um eine Beschädigung der Kugel zu vermeiden. Als Fühler bietet sich ein fluidischer Sensor an.

Es handelt sich bei Fluidiks um mit Luftströmungen bzw. Luftdrücken arbeitende Elemente [1]. Fluidische Sensoren zur Feststellung oder Abtastung von Gegenständen bzw. Oberflächen arbeiten im Grundprinzip derart, daß eine aus einer Öffnung austretende Luftströmung durch einen vor der Öffnung befindlichen Gegenstand beeinflusst wird. Hierdurch tritt eine Druckänderung auf, die am Ausgang des Sensors abgenommen und weiterverarbeitet werden kann.

An den fluidischen Sensor werden hier folgende Forderungen gestellt.

1. Sichere Erfassung einer Bohrung von 3 mm Durchmesser und 2 mm Tiefe
2. Kurze Ansprech- und Abfallzeit
3. Großes Ausgangssignal, damit Driften im pneumatisch-elektrischen Wandler und in der Elektronik kleiner als das Signal sind
4. Nicht zu hohe Empfindlichkeit auf geringe Vertiefungen in der Kugeloberfläche, damit nicht schon durch kleine Riefen eine Bohrung vorgetäuscht wird
5. Ausreichender Abstand des Fühlers von der Kugel, um eine mechanische Berührung, die u.a. zur Verschmutzung des Fühlers führen könnte, zu vermeiden.

In die nähere Wahl gezogen und geprüft wurden drei verschiedene Sensoren.

- A) Reflexauge RFL 2 von Festo-Pneumatic
- B) Eigenbau eines Meßfühlers nach dem Düse-Prallplatte-System gemäß [2]
- C) Fluidik Annäherungsdetektor SE 290 von Waicom.

Es zeigte sich folgendes:

- A erfüllt alle Forderungen mit einer Einschränkung: Wenn der Fühler mitten über der Bohrung steht, versperrt er durch seine eigene Größe die Entlüftung der Bohrung, so daß in dieser Stellung keine Bohrung ertastet werden kann.
- B ist zu empfindlich. Jede kleinste Rille wird angezeigt. Das Ausgangssignal ist recht schwach.
- C erfüllt sämtliche Forderungen und wird deswegen benutzt.

Der Fühler C besteht aus zwei Teilen, einem einfachen Metallröhrchen mit 1,5 mm Innen- und 2 mm Außendurchmesser bei einer Länge von 30 mm als Meßsonde und einem – hier ca. 20 cm entfernten – fluidischen Verstärker zur Druckverstärkung des von der Meßsonde kommenden Signales. Die Meßsonde muß in einem Abstand von ca. 0,1 mm bis 0,2 mm von der Kugeloberfläche entfernt sein.

Der Fühler spricht an, wenn mehr als die Hälfte der Sondenöffnung sich über der Bohrung befindet. Da der Außendurchmesser der Sonde wesentlich kleiner als der Bohrungsdurchmesser ist, kann die Sonde sich nicht selbst die Möglichkeit der freien Luftausströmung nehmen.

Durch den eingebauten fluidischen Verstärker mit Diskriminator erhält man recht große Ausgangssignale, abhängig vom Versorgungsdruck, wobei nur die zwei Zustände 0 oder 1 entsprechend 'Bohrung vorhanden' oder 'Bohrung nicht vorhanden' erscheinen.

Die Laufzeit des Signales beträgt bei etwa 30 cm gesamter Leitungslänge von dem Erscheinen der Bohrung bis zum Ansprechen des pneumatisch-elektrischen Wandlers etwa 2,5 ms.

Der Fühler ist so schnell, daß er noch ein eindeutiges Signal gibt, wenn die Bohrung sich nur 0,5 ms lang unter dem Fühler befindet. Bei 0,3 bar Versorgungsdruck ist das Ausgangssignal $P_a < 1$ mbar beim Vorhandensein der Bohrung und $P_a \approx 25$ mbar im anderen Fall.

Pneumatisch-elektrischer Wandler

Zur Umwandlung des fluidischen Druckluftsignales vom Fühler in ein elektrisches Signal für die elektronische Steuerung dient der bereits erwähnte PE-Wandler.

Da der stationäre Ausgangsdruck des fluidischen Verstärkers gemessen werden soll, darf kein dynamischer PE-Wandler benutzt werden, bei dem nur Druckänderungen gemessen werden. Von der elektronischen Weiterverarbeitung aus gesehen sind z.B. sehr einfache PE-Wandler der druckempfindliche Transistor 'Pitran' von Tekelec Airtronic, Stuttgart, oder ein auf dem Prinzip einer Dehnungsmeßstreifenbrücke beruhender Subminiatur-Druckaufnehmer von Burster, 7562 Gernsbach.

Beide PE-Wandler können ein Drucksignal gegenüber Atmosphäre im Frequenzbereich von 0 Hz bis weit über 10 KHz aufnehmen und ein hierzu analoges elektrisches Ausgangssignal abgeben.

Der 'Pitran' gibt in der vom Hersteller empfohlenen Schaltung ohne zusätzlichen Verstärker ein großes Ausgangssignal von $\Delta U \approx 0,5 \text{ V}$ bei $\Delta P \approx 25 \text{ mbar}$ ab. Es ist daher kein teurer driftarmer Verstärker erforderlich. Jedoch ist bei dem hier vorhandenen Pitran der Temperaturkoeffizient etwas zu groß.

Der Subminiatur-Druckaufnehmer liefert nur ein sehr kleines Signal, $\Delta U \approx 100 \mu\text{V}$. Man benötigt also hier einen guten Verstärker. Die auf das Signal bezogene Temperaturdrift ist aber nur etwa 20 % von der des 'Pitran', so daß in diesem Fall der Subminiatur-Druckaufnehmer vorgezogen wurde.

Allerdings sollte es möglich sein, auch vom Temperaturkoeffizienten her gesehen wesentlich bessere 'Pitran' zu erhalten. Dann würde in diesem Einsatzfall der 'Pitran' der zweckmäßigere Wandler sein.

Elektronische Steuerung

Beide Schrittmotoren werden mit Hilfe der vom Hersteller für sie entwickelten Ansteuereinheiten betrieben. Zur Erzielung des gewünschten Bewegungsablaufes ist natürlich zusätzlich eine elektronische Steuerung nötig, die hier aus TTL-Bausteinen aufgebaut wurde. (Bild 3)

Die elektronische Steuerung liefert zeitlich nacheinanderfolgend diese Signale:

- a) An die Ansteuereinheit des Drehmotors liefert sie die vorgewählte Anzahl Impulse mit der eingestellten Frequenz, so daß die Kugel möglichst schnell um 360° gedreht wird (hier 400 Impulse mit 500 Hz).
- b) An die Einschalttransistoren für den Wendemotor liefert sie den Einschaltpegel und stellt damit die Verbindung zwischen Wendemotor und Ansteuereinheit her.
- c) An die Ansteuereinheit des Wendemotors liefert sie die vorgewählte Anzahl Impulse mit der eingestellten Frequenz, so daß die Kugel möglichst schnell um $4,8^\circ$ gedreht wird (hier 24 Impulse mit 150 Hz).
- d) An die Einschalttransistoren für den Wendemotor liefert sie den Ausschaltpegel und trennt damit die Verbindung zwischen Wendemotor und Ansteuereinheit.

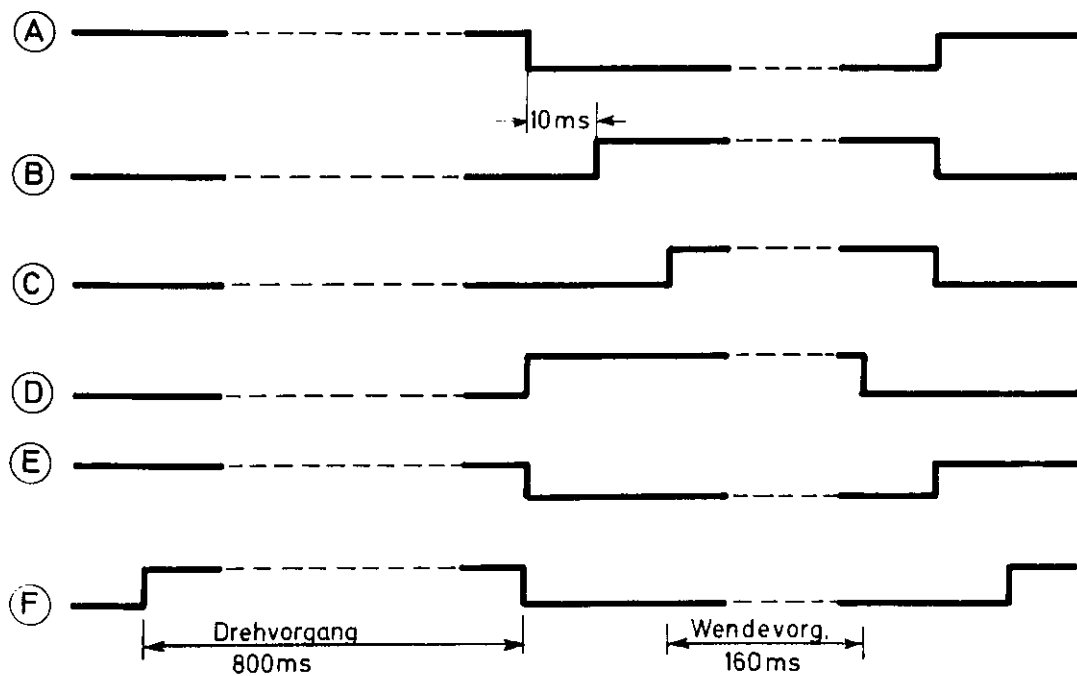
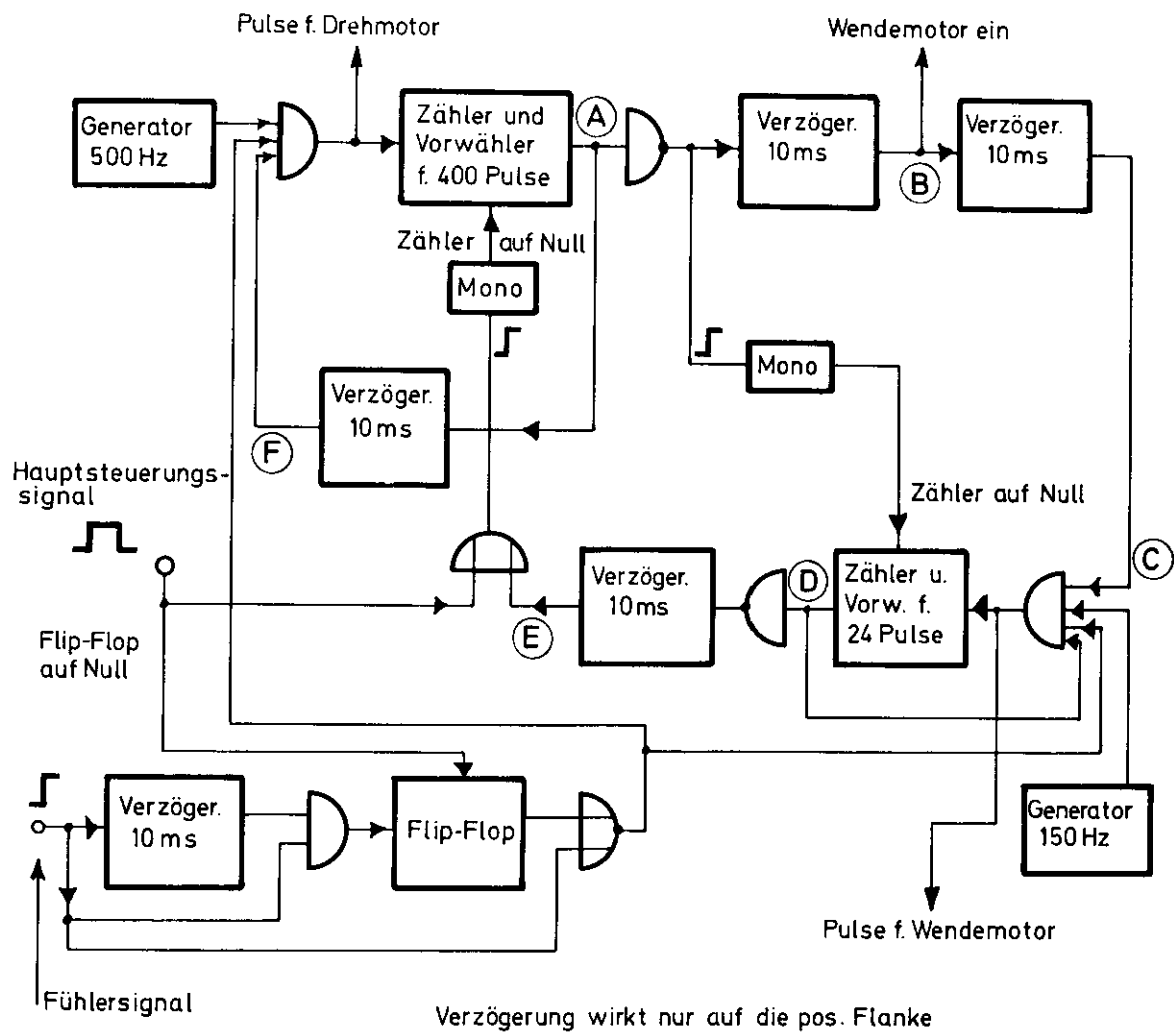


Bild 3 Blockschaltbild und Impulsschema

Die Vorgänge a) bis d) werden so lange wiederholt bis der Fühler anspricht, wobei dieser der Steuerung einen positiven Spannungswert liefert. Danach folgt:

- 1) Unterbrechen der obigen Routine und damit Stillstand der Motoren.
- 2) Fortsetzung der Routine, wenn das Signal vom PE-Wandler kürzer als 10 m sec ist, oder endgültiges Ende der Routine, wenn das Signal länger dauert.

Ein einzelner Durchlauf der Routine hat bei dem erstellten Modell einen Zeitbedarf von 1 s.

Die übrigen Vorgänge wie z.B. Einführen der Kugel in die Apparatur, Bearbeitung der Kugel etc. werden von einer anderen, übergeordneten Steuerung kontrolliert. Von dort kommt das Hauptsteuerungssignal, welches den Suchvorgang startet, und von dort wird auch die Routine beendet, wenn nach etwa 50 s die Bohrung immer noch nicht gefunden wird.

Genauigkeit

A) Wendevorgang

Die Kugel darf maximal nur um einen solchen Winkel gewendet werden, daß selbst bei größtem Wenderadius $r = D/2$ mit Sicherheit eine Abtastlinie genügend lang über der Bohrung verläuft. Bei einem Bohrungsdurchmesser von $d = 3 \text{ mm}$ ist dies bei einem größten Abstand der Abtastlinien von $S = 2,5 \text{ mm}$ noch sicher der Fall.

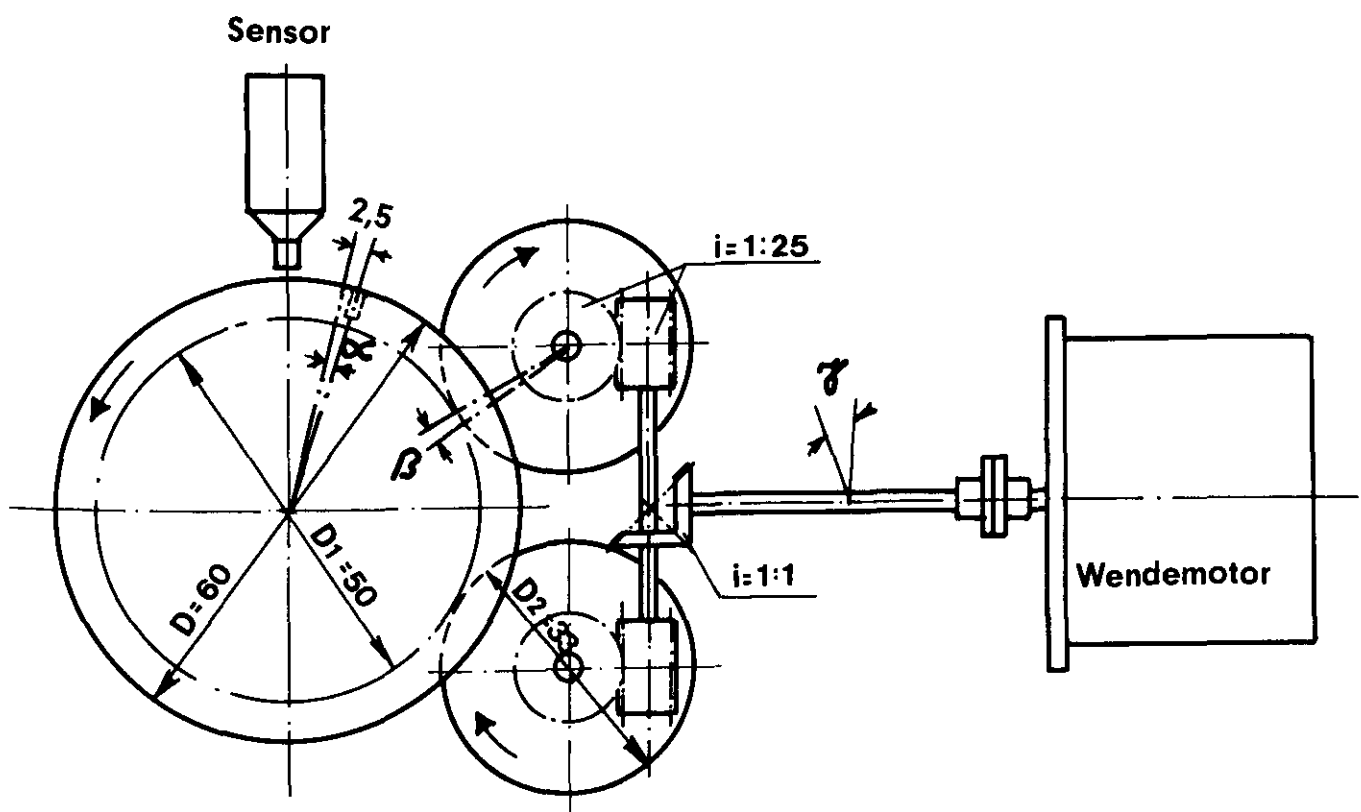


Bild 4 Wendevorgang

Errechnung der hierfür erforderlichen Schritte des Wendemotors:

Umfang der Kugel $U = \pi \cdot D = \pi \cdot 60 \text{ mm} = 188 \text{ mm}$

Wendewinkel der Kugel $\alpha = \frac{S}{U} \cdot 360^\circ = \frac{2,5 \text{ mm}}{188 \text{ mm}} \cdot 360^\circ \approx 4,8^\circ$

Aus dem Laufkreisdurchmesser auf der Kugel $D1 = 50 \text{ mm}$ und dem Laufkreisdurchmesser $D2 = 33 \text{ mm}$ folgt für den Rollenwinkel β

$$\beta = \alpha \cdot \frac{D1}{D2} \approx 4,8^\circ \cdot \frac{50 \text{ mm}}{33 \text{ mm}} \approx 7,2^\circ$$

Wegen der Untersetzung des Schneckentriebes von 1:25 ergibt sich für den Schrittmotorwinkel γ

$$\gamma = \beta \cdot 25 \approx 180^\circ$$

Für den gewählten Schrittmotor mit 7,5° pro Schritt erhält man eine Schrittzahl n_w für einen Wendevorgang

$$n_w = \frac{180^\circ}{7,5^\circ} = 24$$

B) Drehvorgang

Wegen der Untersetzung 1:2 der Drehzahl vom Drehmotor zur Kugel ergibt sich bei dem gewählten Schrittmotor mit 1,8° pro Schritt eine Schrittzahl n_D für einen Drehvorgang von

$$n_D = \frac{360^\circ \cdot 2}{1,8^\circ} = 400$$

Aus dem Kugelumfang $U = 188 \text{ mm}$ errechnete sich das unter dem Sensor hergeführte Wegstück s pro Drehschritt zu

$$s = \frac{U}{n_D}$$
$$s = \frac{188 \text{ mm}}{400} \approx 0,5 \text{ mm}$$

In 98 % aller Fälle wird die Bohrung in der Kugel während der Drehbewegung von der Sonde erfaßt. Der Prozentsatz ist eine Folge geringen Bohrungsdurchmessers bezogen auf den Umfang der Kugel. Da zur Ausführung der Drehbewegung ein anderer Motor als zum Wenden verwandt wird und wegen unterschiedlicher Untersetzung der Getriebe ist die Drehbewegung etwa zehnmal schneller als die Wendebewegung. Daher werden die Überlegungen, ob die Kugel rechtzeitig zum Stehen kommt, nachdem die Bohrung den Sensor erreicht hat, nur für die Drehbewegung durchgeführt.

Ohne den genauen zeitlichen Verlauf des Drehvorganges detailliert zu untersuchen, kann doch mit Hilfe grober Messungen und einfacher Überlegungen in ausreichender Weise der Endstand der Bohrung unter dem Mittelpunkt der Sonde abgeschätzt werden. Große Exaktheit ist schon deswegen nicht angebracht, da der Rand der Bohrung nicht ideal scharf und glatt ist. Die geringe Fase am Bohrungsrand wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigt.

Der Drehmotor läuft mit 500 Schritten pro Sekunde. Der zeitliche Abstand der in die Ansteuer-einheit des Motors laufenden Impulse ist also 2 m s. Nach jedem Impuls folgt ein Schritt.

Durch das Ausgangssignal des Fühlers wird die Zuleitung für die Impulse gesperrt.

Es sind Verzögerungen vorhanden wegen der durch die Schallgeschwindigkeit gegebenen geringen Schnelligkeit des fluidischen Systems und wegen des Nacheilens des Rotors gegenüber den Spannungspulsen durch Wicklungsinduktivität und Massenträgheit.

Für das Ansprechen der Sonde, Übertragung dieses Signales zum fluidischen Verstärker, Verstärkung und Übertragung zum PE-Wandler wurden ca. 2,5 ms gemessen. Dazu kommt noch etwa 1 ms Verzögerungszeit durch die Trägheit im Drehvorgang, so daß sich für die gesamte Totzeit T_{tot} ergibt:

$$T_{\text{tot}} \approx 3,5 \text{ ms}$$

Dies bedeutet, daß der Drehmotor noch ein oder zwei Schritte ausführt, abhängig von der Lage der Bohrung am Anfang oder Ende des Weges, der pro Schritt zurückgelegt wird.

Ein Schritt ergibt auf dem unter der Sonde befindlichen Oberflächenstück der Kugel etwa einen Weg von $s = 0,5 \text{ mm}$. Der Schritt, der die Bohrung zunächst einmal unter die Sonde bringt, kann daher den Sondenmittelpunkt in den Bereich von etwa 0 bis 0,5 mm vom Bohrungsrand entfernt stellen. Danach folgen noch die ein oder zwei Schritte, so daß der Endstand im Bereich von $1 \text{ mm} \pm$ einige zehntel Millimeter vom Bohrungsrand entfernt liegt.

Diese Überlegung stimmt mit den gemessenen Werten überein.

C) Gesamtergebnis

In Bild 5 werden die möglichen Endstellungen (gesamter schraffierter Bereich) angegeben für den Fall, daß nach dem erstmaligen Ansprechen des Fühlers gestoppt wird. Bei der Skizze wurde der Einfachheit halber angenommen, daß die Endstellung $1 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ vom Bohrungsrand entfernt ist.

Die Bohrung kann nur dann eine Endstellung unter dem Sensormittelpunkt im gesamten schraffierten Bereich einnehmen, wenn sie sich zufällig auf dem äußersten Wendekreis befindet. Je näher die Bohrung an der Wendeachse liegt, je kleiner also der Wenderadius r ist, um so mehr rutscht die rechte Abgrenzung des schraffierten Bereiches nach links, da der durch den Wendevorgang bewirkte Weg immer kleiner wird. (Siehe auch Bild 1).

Die Kugel kann also auch bei ideal glatten Bohrungsändern in einer derartigen Lage zum Stehen kommen, daß kein Teil der Bohrung unter dem Sondenmittelpunkt liegt.

Um dies zu verhindern, wird der Suchvorgang dann normal fortgesetzt, wenn der Fühler nach dem Stillstand keine Bohrung mehr ertastet.

Die Fortsetzung des Suchvorganges ist auch deswegen nötig, damit nicht schon kleine Kratzer oder ähnliche Fehlstellen auf der Kugeloberfläche fälschlicherweise als Bohrung interpretiert werden können.

Um am einfachsten und sichersten nach dem Stillstand der Kugel die Lage der Bohrung festzu-

Am Ende des Suchvorganges kann aber immer noch der Fall eintreten, daß der Sondenmittelpunkt sehr nah am Bohrungsrand steht. Durch mehr oder weniger Aufwand in der elektronischen Steuerung kann dieser Nachteil mehr oder weniger gut beseitigt werden.



Wie aufwendig die elektronische Steuerung auch gemacht wird, genauer als auf einen Drehschritt ist die Bohrung nicht zu positionieren.

14

Trotz der Notwendigkeit eines mechanischen Zentrierers ist aber der fluidische Fühler einem mechanischen Fühler vorzuziehen. Es entfällt nämlich das harte Reiben über die Kugeloberfläche, verbunden mit dem Einhaken und Aufreißen der Oberfläche bei kleinen Fehlstellen. Ferner entfällt der Schlag beim Einfallen des mechanischen Fühlers in die Bohrung und der plötzliche gewaltsame Stop der Kugel, wodurch ein Ausbrechen der Bohrungsränder verursacht wird.

Zeitbedarf für das Suchen

Die Kugel wird nur in eine Richtung gewendet. Die längste Zeit wird dann benötigt, wenn die Bohrung über einen halben Umfang gewendet werden muß. Die kürzeste Zeit tritt dann auf, wenn die Bohrung schon direkt beim ersten Drehvorgang unter dem Fühler hergeführt wird.

Als mittlerer insgesamt nötiger Wendeweg kann also ein viertel des Kugelumfangs angenommen werden. Der im Mittel auftretende Winkel für den gesamten Wendevorgang beträgt also 90° . Mit dem Wendewinkel α für einen einzigen Wendevorgang von $\alpha = 4,8^\circ$ ergibt sich als mittlere Gesamtzahl der für einen Suchvorgang erforderlichen Wende- und Drehvorgänge:

$$n_{\text{ges}} = \frac{90^\circ}{4,8^\circ} \approx 19$$

Da bei dem hier erstellten Modell eine Dreh- und Wenderoutine 1 s dauert, ergibt sich für die mittlere Suchzeit T

$$T = 19 \text{ s.}$$

Die maximal auftretende Suchzeit T_{max} ist

$$T_{\text{max}} = 38 \text{ s.}$$

Durch Wahl schnellerer und stärkerer Schrittmotore dürfte diese Zeit noch auf etwa die Hälfte zu verringern sein.

Diverses

Die Sonde befindet sich über dem größten Drehradius über der Mitte der Kugel. Wegen der Durchmessertoleranzen der Kugel von $\pm 1,5 \text{ mm}$ kann die Sonde nicht fest im Modell eingeschraubt werden, sondern ist zwischen zwei Gleitbügeln befestigt, die leicht auf der Kugeloberfläche aufliegen. Hierdurch ist ein ständiger gleichmäßiger Abstand der Sonde zur Kugeloberfläche gewährleistet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Bügel in den Skizzen nicht eingezeichnet.

In dem Bereich unmittelbar radioaktiver Strahlung muß sich neben dem Aufnahmesystem für die Kugel nur die Meßsonde befinden. Da sie nur ein Röhrchen ist, das aus beliebigem Metall sein kann, und da in allen Arbeitszuständen nur Luft aus ihr herausströmt, aber nie welche aufgesaugt und dem nachfolgenden System zugeführt wird, tritt weder durch radioaktive Strahlung noch durch hohe Kugeltemperatur irgendeine Schwierigkeit auf.

Das mechanische Zentrieren und die Bearbeitung der Kugel erfolgen in der gleichen Stellung, in der die Kugel durch den fluidischen Sensor zum Stand gebracht wurde. Hierfür werden Meßsonde, Zentrierer und übriges Werkzeug gewechselt. Eine Führung sorgt für exakte Positionierung der Werkzeuge.

Literatur

- [1] *V. Multrus*
Pneumatische Logikelemente und Steuerungssysteme
Krausskopf-Verlag
- [2] *M. Aßmus*
Numerische Steuerungen aus pneumatischen Bauelementen
Diss. TH Aachen
- [3] *Technische Unterlagen der Firmen*
Waircom, 4 Düsseldorf
Festo-Pneumatik, 7301 Berkheim-Esslingen
De Limon Fluhme, 4 Düsseldorf
- [4] *J. Derichs*
Untersuchungen an Schrittmotoren
Diss. TH Aachen
- [5] *Technische Unterlagen der Firmen*
Knab, 8 München
Omni Ray, 4051 Breyell
Phytron, 8031 Gröbenzell
Valvo, 2 Hamburg
- [6] *K.W. Baurmann, K.H. Hammelmann, W. Tschakert*
Verfahren zum automatischen Austausch von Schalenteilchen
bei kugelförmigen Brennelementen
Jül-378-RG